

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 59-113424

(43)Date of publication of application : 30.06.1984

(51)Int.Cl.

G02F 2/02
H01S 3/18
// H01L 27/15

(21)Application number : 57-224237

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 20.12.1982

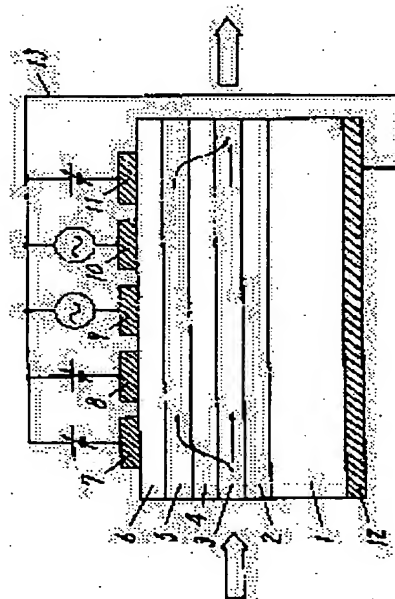
(72)Inventor : BAN YUZABURO
TANIUCHI TETSUO
SERIZAWA AKIMOTO

(54) LIGHT FREQUENCY CONVERTING ELEMENT

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain a frequency converting element having a novel structure using a semiconductor by laminating optical waveguides consisting of core layers and clad layers on an optical waveguide consisting of clad layers and an inserted core layer, and forming an electrode on the rear side and five divided electrodes on the front side.

CONSTITUTION: An optical waveguide consisting of an n-InP (Sn) clad layer 2, a GaAsP(Zn) core layer 3, and a p-InP(Zn) clad layer 4, and an optical waveguide consisting of a p-InGaAs (Zn) core layer 5 and an n-InP(Sn) clad layer 6 are formed on an n-InP substrate crystal 1. When voltage is between electrodes 7, 12 so as to impress voltage in the reverse direction to the p-n junction between the layers 5, 6 the light of the layer 3 is branched to the layer 5. When voltage is impressed to an electrode 8 so as to impress voltage to the p-n junction between the layers 3, 2, the light phase of the layer 3 is changed by π . When modulation voltage is impressed to an electrode 9 the light of the layer 5 is modulated, and when negative modulation voltage is impressed to an electrode 10, the light of the layer 3 is modulated, and the light of the layer 5 is synthesized with the light of the layer 3 by impressing voltage to an electrode 11.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

⑨ 日本国特許庁 (JP)
⑫ 公開特許公報 (A)

⑪ 特許出願公開
昭59-113424

⑤ Int. Cl.³
G 02 F 2/02
H 01 S 3/18
// H 01 L 27/15

識別記号 庁内整理番号
7348-2H
7377-5F
6666-5F

④ 公開 昭和59年(1984)6月30日
発明の数 1
審査請求 未請求

(全 7 頁)

⑬ 光周波数変換素子

門真市大字門真1006番地松下電
器産業株式会社内

① 特 願 昭57-224237
② 出 願 昭57(1982)12月20日
③ 発 明 者 伴雄三郎

⑦ 発 明 者 芹澤皓元
門真市大字門真1006番地松下電
器産業株式会社内

門真市大字門真1006番地松下電
器産業株式会社内

⑧ 出 願 人 松下電器産業株式会社
門真市大字門真1006番地

④ 発 明 者 谷内哲夫

④ 代 理 人 弁理士 中尾敏男 外1名

明 細 書

1. 発明の名称

光周波数変換素子

2. 特許請求の範囲

(1) 所定屈折率の半導体物質からなるコア層とこのコア層をサンドイッチ状にはさみ前記コア層より低い屈折率を有する半導体物質からなるクラッド層とで構成される第1の光導波路と、前記第1の光導波路上に積層形成され、コア層とクラッド層よりなる第2の光導波路と、前記第2の光導波路上に形成され、少くとも5つに分割された金属からなる第1の電極層と、前記第1の光導波路の下表面、すなわち前記第2の光導波路が形成されていない表面に形成された金属からなる第2の電極層と、前記第1の電極層と前記第2の電極層との間に電圧を印加する電圧印加手段とを備え、前記複数の第1の電極層と前記第2の電極層との間に独立に電圧を印加して前記第1又は第2の光導波路を伝搬する光を空間制御する光周波数変換素子。

(2) 第1の光導波路と第2の光導波路との間の一部あるいは全領域に高抵抗の半導体層を有する特許請求の範囲第1項に記載の光周波数変換素子。

(3) 第1の光導波路のコア層と第2の光導波路側に位置するクラッド層および第2の光導波路のコア層と前記第1の光導波路側に位置するクラッド層とが一方の導電型を有する半導体層からなり、前記第1の光導波路、第2の光導波路のそれぞれの第1の電極層、第2の電極層が形成されている側のクラッド層が他方の導電型の半導体層よりなることを特徴とする特許請求の範囲第1項に記載の光周波数変換素子。

(4) 第1の光導波路と第2の光導波路の第1の電極層が形成されていない部分が半絶縁性であることを特徴とする特許請求の範囲第1項に記載の光周波数変換素子。

(5) 第2の電極層が第1および第2の光導波路に対して第1の電極層と相対するように分割された特許請求の範囲第1項に記載された光周波数

特開昭59-113424 (2)

変換素子。

3. 発明の詳細な説明

産業上の利用分野

本発明は光周波数変換素子に関するものである。本発明の光周波数変換素子は光通信分野は言うまでもなく、高感度、精密な工業計測の分野に有用で、将来的に期待されている光ヘテロダイン検波における局部発振光の周波数制御として、レーザージャイロ、光ドップラー計測用素子として利用できる。更に、本発明の光周波数変換素子は広帯域の光周波数の制御は将来的に光論理回路の構成をも可能にし、光コンピューター分野での利用も可能である。また分析や光化学といった分野にも利用できる。

このように、本発明による光周波数変換素子は、光の特性を十分生かした素子として、高感度な変位、速度、加速度、回転、振動などの計測や信号処理、光論理回路などの光回路を可能にするため、情報、医療、教育、交通、防犯、防災、計測、通信などのあらゆる分野に利用できる。

を実現するもので光源ならびに受光素子までも含めた光集積化を前提としたⅡ-V族化合物等の半導体を用いた新しい構造の集積型の光周波数変換素子を提供することを目的とするものである。

発明の構成

本発明にかかる光周波数変換素子は、所定屈折率の半導体物質からなるコア層とこのコア層をサンドイッチ状にはさみ前記コア層より低い屈折率を有する半導体物質からなるクラッド層とで構成される第1の光導波路と、前記第1の光導波路上に積層形成され、コア層とクラッド層よりなる第2の光導波路と、前記第2の光導波路上に形成され、少くとも5つに分割された金属からなる第1の電極層と、前記第1の光導波路の下表面すなわち前記第2の光導波路が形成されていない表面に形成された金属からなる第2の電極層と、前記第1の電極層と前記第2の電極層との間に独立に電圧を印加する手段を備え、第1、第2の光導波路を伝搬する光を変調制御するものである。

本発明による光周波数変換素子によれば、光分

従来例の構成とその問題点

光周波数変換器としては、既に電気光学効果や音響光学効果を利用した素子が報告されている。しかし、これらはバルク結晶を用いたものであり、駆動電圧が高く、変調帯域幅も広くとることができないなどの問題点がある。例えば、音響光学効果を利用したものとして、超音波ブラッグセルと超音波トランスデューサとから構成されているものがあるが、上記した問題点の他に、電気-音響変換部が不可欠であり、Ⅲ-V族化合物半導体デバイスとモノリシック化が困難であり、600 MHz以上の高周波化が困難であるという問題点がある。また、複数個の変調器を1素子としてまとめ、基本周波数を抑圧したような形で光周波数変調素子も提案はされているが、それは基板として従来良く知られたLiNbO₃結晶を用いており、まだ基本的動作が確認できた程度である。

発明の目的

本発明は、上記したような従来における問題点を改善し、低電圧化、広帯域化、小型化、安定化

岐部、位相変換部、第1変調部、第2変調部、光結合部を構成でき、これらはすべて同一の積層型平面スラブ導波路上に形成される。光分岐部と光結合部は積層方向性結合器型スイッチとなり、分岐量あるいは結合量を任意に選択できるほか、平面分岐器あるいは結合器に比べて小型となる。さらに位相変換部、第1変調部、第2変調部はP-n接合の組み合わせにより、光導波路に電場が加わり、ポッケルス効果で位相変調が行なわれる構造とできる。

実施例の説明

まず、本発明の光周波数変換素子の各部（光分岐部、位相変換部、第1変調部、第2変調部、光結合部）の詳細な作用について述べる。

この光周波数変換素子に入射した光（周波数 ω ）は、最初光分岐部に導かれる。ここで入射光は2つに分けられ、以後これら2つの光波は異なる光導波路層を進むことになる。次にこれら2つの光波は位相変換部へ導かれる。ここで2つに分かれた光のうちの一方あるいは両方がポッケルス効果

による位相変調を受け、お互いの位相が相対的に
 π だけずれたものになる。そして次に第1変調部
へ導かれ、ここでは2つの光波のうち的一方だけ
がポッケルス効果による位相変調を受ける。こ
こで変調波の角周波数を Ω 、最大位相偏移量を ϕ_m
変調を受けた後の光出力を I_1 とすると、

$$\begin{aligned} I_1 &= I_0 \sin \{ (\omega t) + \phi_m \sin(\Omega t) \} \\ &= I_0 [J_0(\phi_m) \sin(\omega t) \\ &\quad + J_1(\phi_m) \{ \sin(\omega + \Omega)t + \sin(\omega - \Omega)t \} \\ &\quad + J_2(\phi_m) \{ \sin(\omega + 2\Omega)t + \sin(\omega - 2\Omega)t \} \\ &\quad \vdots \\ &\quad + J_n(\phi_m) \{ \sin(\omega + n\Omega)t + \sin(\omega - n\Omega)t \}] \end{aligned}$$

ただし、ここで I_0 、 ω はそれぞれ入射光の光強
度と角周波数であり、また $J_n(\phi_m)$ はベッセル関
数である。

次に2分割されている光波は共に第2変調部へ
導かれるが、ここでは2分割されている光波のう
ち、第1変調部で変調を受けていない方の光波の

なる。従ってこの光周波数変換素子より出射して
くる光波の周波数は ω から Ω だけずれたものが主
になる。

なお、位相変換部、第1変調部、第2変調部で
行なう位相変調は、外部印加電圧により生じるポ
ッケルス効果を利用して行なう。すなわち、ポッ
ケルス効果により生じる屈折率変化から位相の変
化を生じる。その変化量 $\Delta\phi$ は結晶の長さを l 、
ポッケルス定数を γ とすると

$$\Delta\phi = \frac{\pi}{\lambda} n^3 \gamma E$$

となる。ここで λ は入射光の波長、 n は屈折率、
 E は外部印加電圧の大きさである。

(実施例1)

本発明による光周波数変換素子の具体的な構成
例を第1図と第2図に示す。第1図は電極例より
みた平面図、第2図は層状構成を示す断面図であ
る。図に示すように本素子は精密に制御された結
晶性の良い多層膜積層導波路により構成されてい
る。すなわち基板結晶1には、 n -InP(Sn)結

特開昭59-113424 (3)

みが変調を受ける。すなわち第1変調部の場合と
同様に

$$\begin{aligned} I_2 &= I_0 \sin \{ \omega t + \pi + \phi_m \sin(\Omega t) \} \\ &= I_0 [-J_0(\phi_m) \sin(\omega t) \\ &\quad + J_1(\phi_m) \{ \sin(\omega + \Omega)t + \sin(\omega - \Omega)t \} \\ &\quad - J_2(\phi_m) \{ \sin(\omega + 2\Omega)t + \sin(\omega - 2\Omega)t \} \\ &\quad \vdots \\ &\quad + J_n(\phi_m) \{ \sin(\omega + n\Omega)t + \sin(\omega - n\Omega)t \}] \end{aligned}$$

次に2分割された光波は共に光結合部に導かれ、
合成される。その結果合成波 I_3 は

$$\begin{aligned} I_3 &= I_1 + I_2 \\ &= I_0 [J_1(\phi_m) \{ \sin(\omega + \Omega)t + \sin(\omega - \Omega)t \} \\ &\quad + J_2(\phi_m) \{ \sin(\omega + 2\Omega)t + \sin(\omega - 2\Omega)t \} \\ &\quad \vdots \\ &\quad + J_n(\phi_m) \{ \sin(\omega + n\Omega)t + \sin(\omega - n\Omega)t \}] \end{aligned}$$

となり、入射波の周波数、 ω 成分は消えることに

晶を用い、その上にエピタキシャル成長によって
形成される5つの半導体層2、3、4、5、6は
それぞれ第1の導波路のクラッド層である n -
InP(Sn)、第1の導波路のコア層となる P -
InGaAsP(Zn)、クラッド層となる P -InP(Zn)、
第2の光導波路のコア層となる P -InGaAsP(Zn)、
第2の光導波路のクラッド層となる n -InP(Sn)
を用いる。また、 n -InP(Sn)層6の上に形成
され、5つに分割されている金属層7、8、9、
10、11には1.0% Sn/Auを、また基板結晶
1の下表面に形成される金属層12にも1.0%
Sn/Auを用いる。そして上表面に形成され、5
つに分割された金属層7、8、9、10、11と
下表面に形成された金属層12との間に6つの電
極それぞれ独立に制御可能な電圧印加装置13を
設ける。

このような本発明の実施例によるこの光周波数
変換素子は、外部電圧を印加しない場合は、単な
る光導波路あるいは方向性結合器としての働きし
か示さない。しかし上表面の5つの金属層7、8、

9, 10, 11と下表面の金属層12との間に、6電極それぞれ適当に電圧を印加すると、光周波数変換素子としての働きを示すことになる。すなわち、光をP-InGaAsP層3に入射させると、まず金属層7の下部に構成されている光分岐部に導かれる。

ここではP-InGaAsP層5とn-InP層6の間のP-n接合に逆方向電圧が印加されるように金属層7に一定電圧を印加すると、空乏層が広がりその部分の自由キャリア密度が減少し、なおかつポッケルス効果により屈折率が高くなる。その結果P-InGaAsP層5の伝搬定数が増加する。一方P-InGaAsP層3とn-InP層2の間のP-n接合には順方向に電圧が印加されるため、P-InGaAsP層3の伝搬定数は変化しない。従ってP-InGaAsP層3とP-InGaAsP層5の結合状態が変化し、P-InGaAsP層3からP-InGaAsP層5へ光が一部分岐する。すなわち、このようにすれば、方向性結合器型光スイッチの働きをして、入射光を2つに分岐し、もう一方の光をP-

り、このP-InGaAsP層5を導波している第3図(a)の光のみが位相変調すなわち最大位相偏移量 ϕ_m 、変調角周波数 Ω の変調を受ける。その際の変調特性を第3図(b)に示す。

次に2つの光は、金属層10の下部に構成されている第2変調部へ導かれる。ここでは、金属層10に、変調電圧、 $-\phi_m \times \sin \Omega t$ を印加して、P-InGaAsP層3にのみ電圧が印加するようにし、このP-InGaAsP層3を導波している光のみが位相変調すなわち最大位相偏移量 ϕ_m 、変調角周波数 Ω の変調を受けるようにする。その際の変調特性を第3図(c)に示す。

そして最後に、共に変調を受けている2つの光は、金属層11の下部に構成されている光結合部に導かれる。ここは上記した光分岐部と同様に方向性結合器型光スイッチの機能を持っている。従って金属層11に適当な大きさの電圧を印加することにより、P-InGaAsP層5を導波している光を、P-InGaAsP層3へ導き、2つに分かれていた光を合成する。この際、入射波の周波数成分は

特開昭59-113424 (4)

InGaAsP層5へ導波させる。

次にこれら2つに分岐した光は共に、金属層8の下部に構成されている位相変換部へ導かれる。

ここで、P-InGaAsP層3とn-InP層2のP-n接合に逆方向電圧が印加されるように金属層8に一定電圧を印加すると、ポッケルス効果により、P-InGaAsP層3を導波している光のみの位相変調を受ける。一方P-InGaAsP層5とn-InP層6の間のP-n接合には順方向に電圧が印加するため、P-InGaAsP層5には電圧が印加されず、その層を導波している光の位相は変化しない。そこで印加する電圧を適当に選ぶことにより、P-InGaAsP層3を導波している光の位相のみが π だけ変換し、結局この位相変換部では、2つに分岐された光の位相が相対的に π だけずれたことになる。

次にこれらの2つの光は、金属層9の下部に構成されている第1変調部へ導かれる。ここでは金属層9に、変調電圧 $\phi_m \times \sin \Omega t$ を印加すると、P-InGaAsP層5にのみ電圧が印加されることにな

り、入射波の周波数から $\pm \Omega, \pm 3\Omega, \pm 5\Omega, \dots$ だけずれた周波数を持った光のみが残る。その際の変調特性を第3図(d)に示す。

従って、この素子から出射してくる光は、その周波数が入射波の周波数に対して $\pm \Omega, \pm 3\Omega, \pm 5\Omega, \dots$ だけずれたものであって、周波数変換が行なわれたものになっている。

本素子の構成は入射波の基本周波数および変換された周波数の偶数項のみが相殺されているが、更に本素子を多段に配置することによって更に高次の高調波も消去でき単一の変換周波数を得ることもできる。また、実施例においてはInP-InGaAsP系半導体において説明したが、GaAs-GaAlAs系などの他のIII-V族半導体においても同様に実現されるばかりでなく、更にZnSe等のII-VI族化合物半導体においても可能であり、II-VI, III-V族半導体を交互に層堆化にも実現できる。

(実施例2)

次に本発明の他の実施例による光周波数変換素子を第4図に示す。第4図は第1の光導波路と第2の光導波路の電極層が形成されていない部分が半絶縁性である光周波数変換素子を示す。この素子の場合も、第1図、第2図に示す実施例1の光周波数変換素子と全く同様な材料を用いた多層膜積層導波路により構成され、ただ半絶縁性部分14を有する点が異なっている。この半絶縁性部分は B^{+} イオンのイオン注入等により形成される。また各電圧印加装置13に印加する電圧の大きさおよび各光分岐部、位相変換部、第1変調部、第2変調部、光結合部の動きも実施例1の場合と全く変わりが無い。

(実施例3)

次に本発明のさらに他の実施例より光周波数変換素子を第5図に示す。第5図は実施例2で示した半絶縁部分14を有し、なおかつ電極層12が電極層7, 8, 9, 10, 11に相対して分割された光周波数変換素子である。この場合も各部の構成材料および各電極層7, 8, 9, 10, 11,

結晶型の欠点が除去され駆動電圧を低くでき、従来の音響光学効果では不可能であった数百MHz以上の広帯域な周波数変調を得ることができる。更に本素子を複数個配列することによって高調波成分を更に抑圧することが可能で単側帯波の変調光を得ることもできる。なぜならば、変調周波数は変調電圧の角周波数によって決まり、その角周波数は化合物半導体の電子の移動度から、数百MHz以上でも充分に可能であるからである。さらに、本素子を複数個配列することによって、高調波成分を更に抑圧することが可能で、単側帯波の変調光を得ることもでき、また化合物半導体で構成することは将来的に半導体レーザー等のアクティブ素子や駆動電気回路との一体化も可能となる。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の一実施例の光周波数変換素子の平面図、第2図は同光周波数変換素子の断面積層構成図、第3図(a)~(d)は本発明の光周波数変換素子の変調特性図、第4図は本発明の他の実施例の光周波数変換素子の断面図、第5図は本発明の

特開昭59-113424(5)

12間に印加する電圧の印加方法は実施例1、実施例2と全く同じであり、また各光分岐部、位相変換部、第1変調部、第2変調部、光結合部の動きも実施例1、実施例2と全く変わりが無い。

発明の効果

本発明の光周波数変換素子は化合物半導体を用いて積層型導波路構造にて実現できる新しい素子である。本発明の素子のように積層導波路構造にすることによって、光分岐部ならびに光結合部は積層方向性結合器となり、分岐角ならびに結合量を任意に選択できるほか、平面分岐器ならびに平面結合器に比べて小型となる。更に位相変換部、第1変調部、第2変調部はP-n接合の組み合わせによって構成できる。すなわち、本発明では積層されている2つの導波路が共に1つのP-n接合をコア層とクラッド層の境界に有して、なおかつ電圧を印加した場合に、その印加方向によって、どちらか一方の導波路のP-n接合のみに逆方向電圧が印加されるようにできる。このような構成にすれば素子の小型化のみならず、パルス

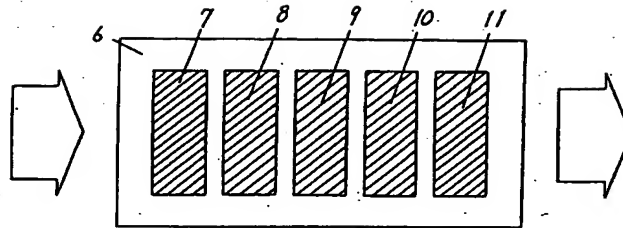
さらに他の実施例の光周波数変換素子の断面図である。

1.....n-InP(Sn) 基板結晶、2.....n-InP(Sn)層、3.....P-InGaAsP(Zn)層、4.....P-InP(Zn)層、5.....P-InGaAsP(Zn)層、6.....n-InP(Sn)層、7.....光分岐部、10%Sn/Au層、8.....位相変換部10%Sn/Au層、9.....第1変調部10%Sn/Au層、10.....第2変調部10%Sn/Au層、11.....光結合部10%Sn/Au層、12.....10%Sn/Au層、13.....電圧印加装置、14.....半絶縁性部分。

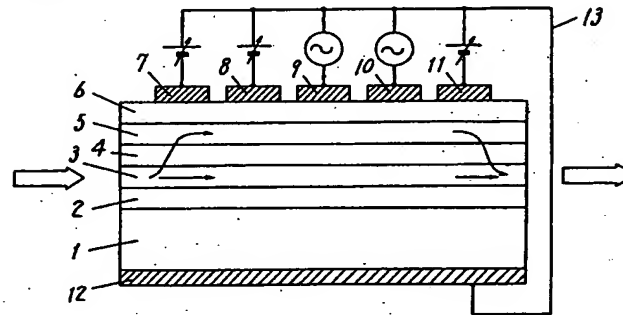
代理人の氏名 弁理士 中 尾 敏 男 ほか1名

特開昭59-113424 (6)

第 1 図

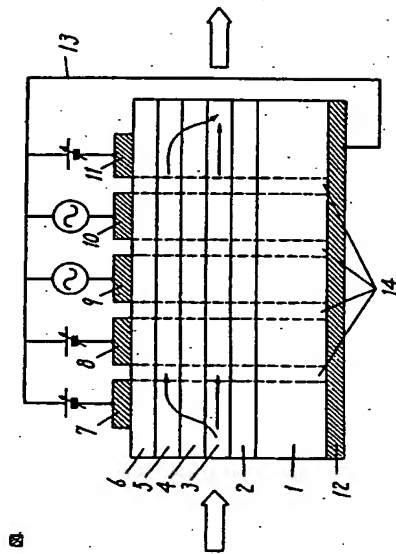
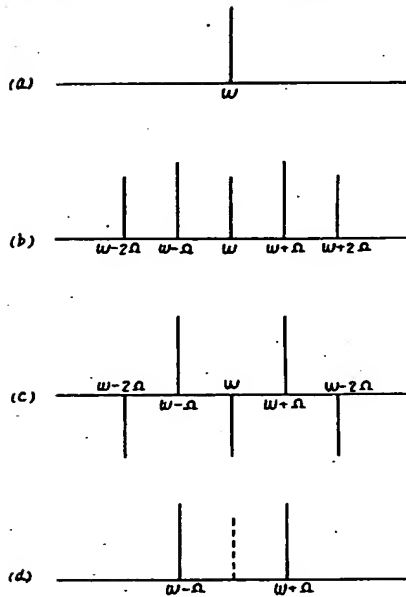


第 2 図



第 3 図

周波数——



第 4 図

特開昭59-113424 (7)

第 5 図

